

УДК 389:14:621.317:354

DOI: 10.15587/1729-4061.2019.166504

Міжлабораторні порівняння результатів калібрування генератора сигналів

О. М. Величко, С. М. Шевкун, О. О. Мещеряк, Т. Б. Гордієнко,
С. М. Курсін

Представлено дані міжлабораторних порівнянь результатів калібрування генераторів сигналів в трьох точках калібрування. Здійснено вибір методології оброблення результатів міжлабораторних порівнянь результатів з урахуванням довготривалого дрейфу зразка порівняння. Проведено модернізацію і дослідження зразка порівняння для міжлабораторних порівнянь результатів з калібрування генераторів сигналів. Визначені приписані значення для трьох точок калібрування та їх розширені невизначеності. Отримано вирази для апроксимації довготривалого дрейфу зразка порівняння і складено бюджети невизначеностей для всіх його приписаних значень зразка порівняння на частотах 130 МГц, 168 МГц і 223 МГц.

Визначені міжлабораторні відхилення отриманих лабораторіями результатів та оцінено узгодженість отриманих ними даних за допомогою показників E_n та z . Це характеризує достовірність та точність результатів вимірювань лабораторій, а також є важливим для підтвердження технічної компетентності. Представлені результати міжлабораторних порівнянь результатів калібрування генераторів сигналів показують, що всі лабораторії-учасниці задовольняють вимогам щодо показника E_n -індексу. В той же час дві лабораторії з десяти потребують як суттєвих, так і певних заходів корегування, так як не задовольняють вимогам щодо показника z .

Встановлено, що показник E_n не завжди є самодостатнім. Він в більшій мірі характеризує лише достовірність результатів вимірювань лабораторій. Для цього більш інформативним є показник z , який дає кращу інформативність щодо точності вимірювань в лабораторіях, тобто наближеності результатів вимірювань до істинного значення

Ключові слова: міжлабораторні порівняння, калібрувальна лабораторія, невизначеність вимірювань, генератор сигналів, зразок порівняння

1. Вступ

Роль вимірювань і метрології при проведенні наукових досліджень, випробуваннях засобів вимірювальної техніки (ЗВТ) й іншої різноманітної продукції постійно зростає. Значно підвищуються вимоги до точності й достовірності результатів вимірювань і випробувань, розширюються їх діапазони. Досягнення конкурентоспроможності продукції національних товаровиробників на світовому ринку неможливе без урахування сучасних метрологічних норм і правил, правил оцінки відповідності продукції, викладених у сучасних нормативно-правових актах і нормативних документах. На сучасному етапі розвитку суспі-

льства взаємне міжнародне визнання результатів проведених вимірювань в різних країнах стає критичним для усунення технічних бар'єрів у торгівлі і, як наслідок, для участі у багатосторонніх торговельних угодах.

Метрологічна простежуваність вкрай важлива для прикладної метрології [1]. Вона дозволяє порівняти точність вимірювань згідно зі стандартизованою процедурою оцінювання невизначеності вимірювань [2]. Важливу роль для реалізації метрологічної простежуваності згідно з [3] відіграють калібрувальні лабораторії (КЛ). Міжлабораторні порівняння результатів (МПР) є однією з форм експериментальної перевірки діяльності акредитованих лабораторій. МПР повинні відповідати вимогам національних стандартів ДСТУ ISO/IEC 17025 [4] та ДСТУ EN ISO/IEC 17043 [5], які гармонізовані з відповідними міжнародними та європейськими стандартами. ДСТУ ISO/IEC 17025 [4] регламентує положення відносно технічної компетентності акредитованих лабораторій та простежуваності вимірювань. Метою МПР є встановлення міжлабораторних відмінностей їх учасників [6]. Успішні результати проведення МПР є підтвердженням компетентності лабораторії в проведенні певних видів вимірювань конкретним фахівцем на конкретному обладнанні [7].

Для отримання достовірних даних МПР акредитованих лабораторій важливим є застосування відповідних методів оброблення результатів. Ці методи базуються на різних алгоритмах обробки даних згідно з вимогами міжнародних і регіональних настанов та стандартів [8, 9]. Однак, крім метода оброблення даних, необхідно враховувати інші чинники, які можуть впливати на МПР. Зокрема, незадовільні результати МПР можуть бути пов'язані з: великим часовим дрейфом зразка порівняння (ЗП); відхиленням від нормального стану компетентності лабораторії; неполадками наявного у лабораторії обладнання; недостатньою компетентністю фахівця, який з ним працював тощо [7].

МПР проводять підготовлені компетентні координатори таких випробувань – референтні лабораторії (РЛ). Результати участі в певному МПР оцінюють за допомогою встановлених координаторами МПР критеріїв. Координатор МПР: встановлює приписане значення вимірюваної величини; визначає невизначеність приписаного значення; проводить необхідну обробку отриманих результатів; встановлює міжлабораторні відхилення і формує висновки для всіх лабораторій-учасниць. Вибір конкретного методу обробки результатів МПР залежить від виду досліджуваного зразка порівняння (ЗП), особливостей випробувань чи калібрування і кількості лабораторій, що беруть участь в МПР. Стабільність ЗП є якісною характеристикою, яка відображає незмінність в часі його метрологічних характеристик (МХ). Нестабільність ЗП означає зміну результату вимірювання при заданому значенні характеристики навколишнього середовища, що включає в себе дрейф і флуктуації у результаті зміни градуовальної функції за період відсутності постійного обслуговування. Причому дрейф і флуктуації з часом обумовлюють відповідно монотонну і стохастичну зміну вихідного сигналу.

Актуальність дослідження зумовлена потребою у проведенні МПР для забезпечення визнання отриманих результатів як на національному, так і на міжнародному рівнях. Значний інтерес представляють публікації, присвячені пи-

танням організації проведення МПР, методам оброблення отриманих даних та підвищення достовірності. Це питання вкрай актуальне зважаючи на відсутність проведених МПР з калібрування генераторів сигналу.

2. Аналіз літературних даних та постановка проблеми

Грунтовний аналіз нормативних документів щодо оброблення отриманих даних в МПР, базованих на статистичних методах, проаналізовано у [6–9]. Зокрема у [6] запропоновано процедуру зв'язування результатів МПР національних еталонів та МПР на національному рівні на прикладі стандартів передачі напруги змінного/постійного струму. Це дасть можливість підвищити точну ідентифікацію міжлабораторних відмінностей та рівень достовірності для заяв про еквівалентність вимірювань лабораторій-учасників. У [7] запропоновано універсальний алгоритм обробки первинних даних МПР, отриманих під час калібрування вимірювача часу, який дозволяє РЛ врахувати всі особливості звітування про проведені МПР. У [8] проаналізовані міжнародні та регіональні настанови й стандарти, на яких базуються методи оброблення результатів МПР. У [9] обґрунтовано застосування метода оброблення даних, який має мінімальну кількість обмежень щодо застосування та дозволяє отримувати достовірні результати. Варто зазначити, що наявні наукові публікації за темою дослідження висвітлюють особливості проведення МПР для аналітичних (фізико-хімічних) випробувальних лабораторій або висвітлюють питання особливостей проведення МПР для КЛ за конкретними видами вимірювань [6, 7].

У праці [10] розглянуті два способи обробки даних МПР, однак вони базуються на застосуванні однієї і тієї ж процедури. У працях [11–13] наведені алгоритми і результати проведення МПР щодо оцінювання вимірювальних можливостей лабораторій та отримання високоточних і прецизійних даних. Однак зазначені роботи не враховують такий важливий елемент, як часовий і температурний дрейф ЗП, що значно впливає на отримані результати випробувань.

Окремі праці [14–19] присвячені дослідженню особливостей МПР. Зокрема, у [14] розглянуто підходи до вдосконалення методів вимірювання та оцінювання невизначеності лабораторій-учасниць МПР для вимірювання активної потужності, а у [15] здійснено оцінювання даних МПР лабораторій з подальшим обрахуванням невизначеності результатів вимірювань. Оцінка даних кожної лабораторії-учасниці проводилась з використанням такого критерію як z -індекс. Однак у роботі [14] не аргументовано перевага вибору саме критерію z -індекс у порівнянні з іншими критеріями за статистикою функціонування. У [16–19] представлено підходи до встановлення довготривалого дрейфу еталону порівняння для міжнародних звірень національних еталонів. Такий підхід можна також застосувати і до МПР, визначаючи довготривалий дрейф ЗП. Крім цього, доцільно також визначити і короткотривалий дрейф ЗП для встановлення відповідної складової загальної невизначеності при калібрування ЗП.

Проведені дослідження показали нагальну необхідність розвитку і удосконалення наявних методів обробки даних МПР з урахуванням дрейфу ЗП. Це буде сприяти підвищенню точності дослідження ЗП для відповідного зменшення невизначеності вимірювань, які проводять лабораторії-учасниці МПР.

3. Мета і завдання дослідження

Метою дослідження є удосконалення наявних методів обробки даних МПР з урахуванням часового і температурного дрейфу ЗП. При цьому необхідно враховувати забезпечення метрологічної простежуваності різного рівня щодо використаних ЗП, мінімізацію невизначеності приписаного значення при проведенні МПР при обробленні отриманих від лабораторій-учасниць даних.

Для досягнення мети були поставлені такі завдання:

- створити спеціальний ЗП з метою участі у МПР з калібрування генераторів сигналу;
- дослідити ЗП для МПР з калібрування генераторів сигналу, визначити приписане значення та розширену невизначеність для МПР;
- оцінити результати дослідження ЗП лабораторіями-учасницями МПР з калібрування генераторів сигналу;
- оцінити узгодженість отриманих результатів МПР з калібрування генераторів сигналу.

4. Матеріали та методи дослідження підходів до оцінювання МПР калібрування генератора сигналів

Під час обробки первинних даних від лабораторій-учасниць за результатами МПР здійснюють розрахунок міжлабораторного відхилення результатів вимірювання та перевірку даних на узгодженість. Для перевірки даних на узгодженість проводять порівняльний аналіз відповідних критеріїв за статистикою функціонування і обирають найбільш ефективний для застосування при обробленні отриманих даних.

Міжлабораторні відхилення результатів вимірювання лабораторій-учасниць МПР визначають за виразом:

$$D_{labj} = x_{labj} - X_{AV}, \quad (1)$$

де x_{labj} – виміряне лабораторією-учасницею МПР значення частоти; X_{AV} – приписане значення частоти, обчислене РЛ.

Оцінка результатів кожного учасника МПР традиційно проводиться за допомогою модифікованого критерію за статистикою функціонування за показником E_n , який визначається за виразом:

$$E_n = \frac{D_{lab}}{\sqrt{U^2(x_{lab}) - U^2(X_{AV})}}, \quad (2)$$

де $U(x_{lab})$ – розширена невизначеність вимірювань при визначенні значення частоти лабораторією-учасницею МПР; $U(X_{AV})$ – розширена невизначеність вимірювань при визначенні приписаного значення частоти РЛ.

При цьому, якщо:

$|E_n| \leq 1,0$ – результат не потребує заходів корегування або реагування;

$|E_n| > 1,0$ – результат потребує заходів корегування або реагування.

Оцінка узгодженості даних лабораторій-учасниць МПР також може проводитись за допомогою критерію за статистикою функціонування за показником z , який визначається за формулою:

$$z = (D_{labj} - x^*) / s^*, \quad (3)$$

де D_{labj} – відхилення результатів вимірювання лабораторій; x^* і s^* – відповідно робастне середнє значення та робастне стандартне відхилення, обчислені відповідно до алгоритму А ДСТУ ISO 13528 [20].

При цьому, якщо:

$|z| \leq 2,0$ – результат не потребує заходів корегування або реагування;

$2,0 < |z| < 3,0$ – результат потребує певних заходів корегування або реагування;

$|z| > 3,0$ – результат потребує суттєвих заходів корегування або реагування.

Для обчислення робастного середнього значення x^* та робастного стандартного відхилення s^* спочатку розраховуються їхні початкові значення x_{init}^* та s_{init}^* для $i=1, 2, \dots, p$ (де p – кількість учасників МПР) за виразами:

$$x_{init}^* = \text{медіана } x_i, \quad (4)$$

$$s_{init}^* = 1,483 \text{ медіана } |x_i - x_{init}^*|, \quad (5)$$

де x_i – відхилення результатів вимірювання частоти учасниками МПР від приписаного значення частоти, обчисленого референтною лабораторією.

Далі обчислюють значення корельованого робастного середнього значення $x_{cor\ i}^*$ для кожного x_i ($i=1, 2, \dots, p$) за виразом:

$$x_{cor}^* = \begin{cases} x_{cor\ i}^* - \delta, & \text{якщо } x_i < x_{init}^* - \delta, \\ x_{cor\ i}^* + \delta, & \text{якщо } x_i > x_{init}^* + \delta, \\ x_{cor\ i}^* & \text{в інших випадках,} \end{cases} \quad (6)$$

де δ – уточнене значення s_{init}^* , обчислене за формулою:

$$\delta = 1,5 s_{init}^*. \quad (7)$$

Остаточні значення x^* та s^* обчислюються за виразами:

$$x^* = \sum_{i=1}^p \left(\frac{x_{cor\ i}^*}{p} \right), \quad (8)$$

$$s^* = 1,134 \sqrt{\sum_{i=1}^p \frac{(x_{cor\ i}^* - \bar{x}_{cor}^*)^2}{p-1}}, \quad (9)$$

де \bar{x}_{cor}^* – середнє значення всіх $x_{cor\ i}^*$, $i=1, 2, \dots, p$.

Якщо дані неузгоджені, проводять аналіз з метою їх відхилення або подальшого узгодження шляхом уточнення застосованих показників.

5. Результати міжлабораторного порівняння калібрування генератора сигналів

5. 1. Створення зразка порівняння для міжлабораторних порівнянь результатів

Для технічного забезпечення МПР за видом вимірювання часу і частоти РЛ (ДП «Укрметртестстандарт», м. Київ, Україна) було здійснено модернізацію генератора сигналів BPSG6 OEM виробництва компанії Aaronia AG (Німеччина). Метою модернізації було створення компактного ЗП для проведення МПР на основі щитового приладу. ЗП є стабільною тринімінальною мірою високої частоти з автономним живленням і стійкістю до зовнішніх механічних та кліматичних факторів.

Структурна схема ЗП для МПР наведена на рис. 1.

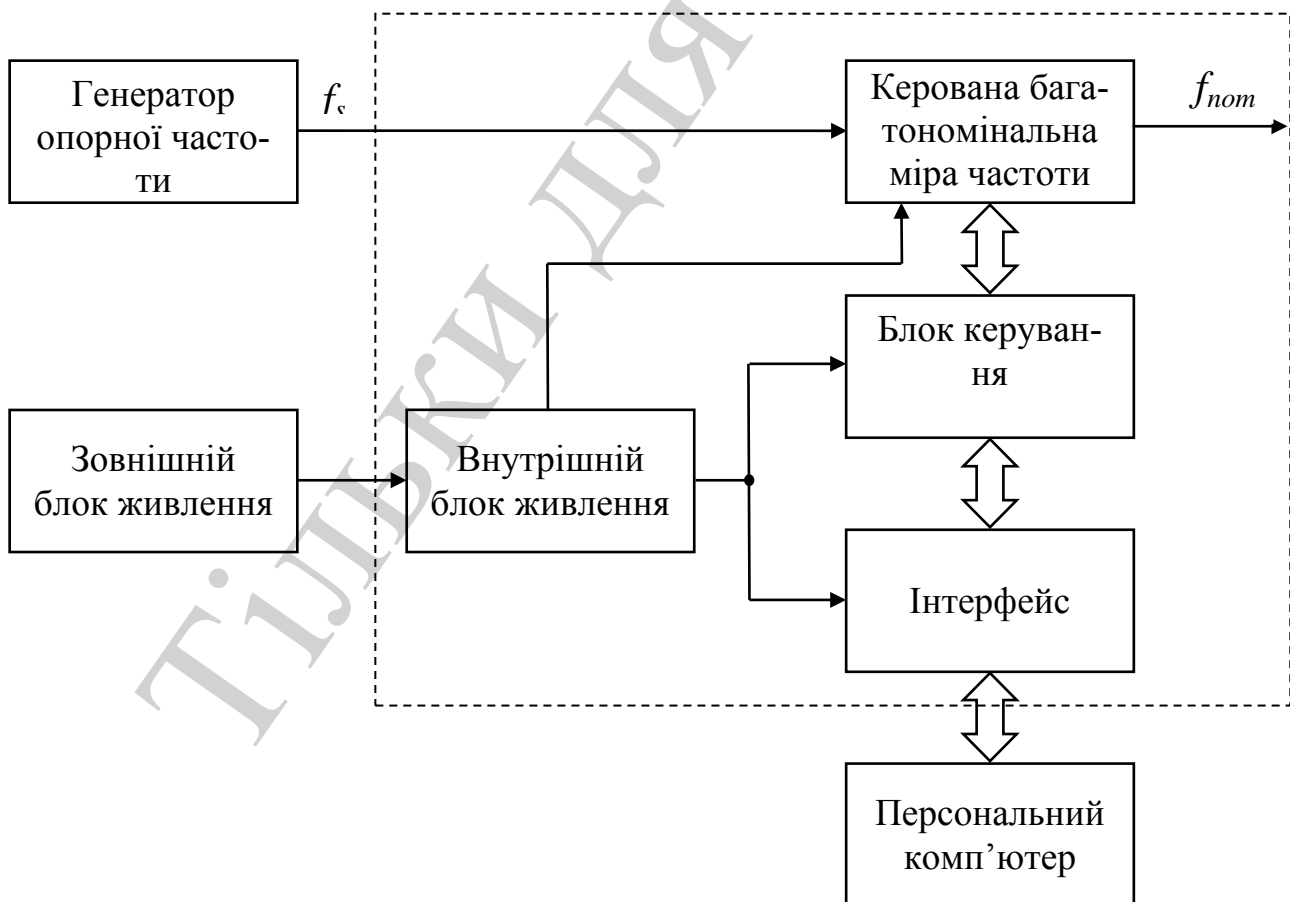


Рис. 1. Структурна схема ЗП для МПР

Для завдання необхідних режимів генерації з послідовною зміною номінальної частоти 130 МГц → 168 МГц → 223 МГц (через кожну годину) було створено спеціальний програмний файл. Даний програмний файл з персонального комп'ютера (в якому встановлено програмне забезпечення Aaronia) через інтерфейс USB записується у внутрішню пам'ять керованої багатозначної міри частоти – модернізований генератор сигналів BPSG6 OEM. Для живлення цього генератора використовується зовнішній блок живлення або внутрішнє акумуляторне резервне джерело живлення з контролером. Контролер надає можливість заряджати акумулятор, як від зовнішнього блока живлення, так і від інтерфейсу USB.

Основні технічні характеристики (ТХ) генератор сигналів BPSG6 OEM, в частині, що стосується застосування його як ЗП для МПР:

- діапазон частот від 130 МГц до 223 МГц;
- рівень вихідного сигналу – 1,5 В;
- інтерфейс – USB;
- живлення – 12 В від блока живлення, або від USB.

Під час модернізації генератора сигналів BPSG6 OEM було здійснено наступні зміни:

- виготовлено новий ергономічний компактний корпус із алюмінієвого сплаву, стійкий до впливу зовнішніх механічних факторів за умовами проведення МПР;
- виведено на передню панель необхідні для проведення МПР всі елементи комутації та управління;
- виведено на задню панель необхідні для проведення МПР роз'єми та інтерфейси – USB;
- замінено зовнішнє імпульсне джерело живлення на трансформаторне для зменшення впливу високочастотних завад при проведенні дослідження учасниками МПР;
- створено спеціальний програмний файл управління генератором для задання необхідних режимів генерації частоти з послідовною зміною частоти 130 МГц → 168 МГц → 223 МГц.

Для можливості застосування генератора сигналів BPSG6 OEM у МПР як ЗП вихід вимірювального сигналу з роз'ємом типу N, яким замінено штатний роз'єм типу SMA. Використання штатного роз'єму типу SMA ускладнювало його підключення у багатьох лабораторіях-учасницях МПР, які для високочастотних вимірювань використовують роз'єм типу N. При цьому використання різноманітних перехідників вносить додаткову складову загальної невизначеності в результат вимірювань. У генераторі також використано роз'єм BNC замість роз'єму типу SMA для входу сигналу синхронізації від зовнішнього джерела опорної частоти, що дозволило реалізувати лабораторіям-учасницям МПР власну процедуру дослідження ЗП.

5. 2. Результати дослідження зразка порівняння для МПР

РЛ організувала і провела протягом 2018 р. МПР з калібрування модерні-

зованого генератора сигналів BPSG6 OEM згідно з вимогами ДСТУ ISO/IEC 17025 [4], ДСТУ EN ISO/IEC 17043 [5] і ДСТУ ISO 13528 [20]. Основною метою МПР було проведення перевірки кваліфікації КЛ за видом вимірювання часу і частоти. Програма перевірки кваліфікації була реалізована відповідно до вимог ДСТУ EN ISO/IEC 17043 [5].

У МПР за радіальною схемою взяли участь 11 лабораторій, які проводили калібрування відповідно до власних методик калібрування. РЛ підготувала транспортований ЗП, визначила його значення до, під час, та після порівнянь, визначила дрейф ЗП і відповідні невизначеності.

Як точки калібрування було обрано три фіксовані частоти генератора: 130 МГц, 168 МГц і 223 МГц. Значення частот було запрограмовано РЛ і не підлягали зміні протягом всього періоду проведення МПР. Сигнали ЗП певної частоти подавались через один й той самий вихід ЗП постійно після його включення, змінюючи одна одну через кожну годину в такій послідовності: 130 МГц, 168 МГц і 223 МГц. Калібрування виконувалось за нормальних умов відповідно до вимог: температура повітря $(23 \pm 3)^\circ\text{C}$; відносна вологість повітря $(50 \pm 20)\%$.

Аналогічні підходи до встановлення довготривалого дрейфу ЗП, представлені в [16–19], можна використати і для проведення МПР. При цьому це завдання покладається на РЛ МПР.

Графіки довготривалого дрейфу частот, отримані РЛ, зображено на рис. 2–4.

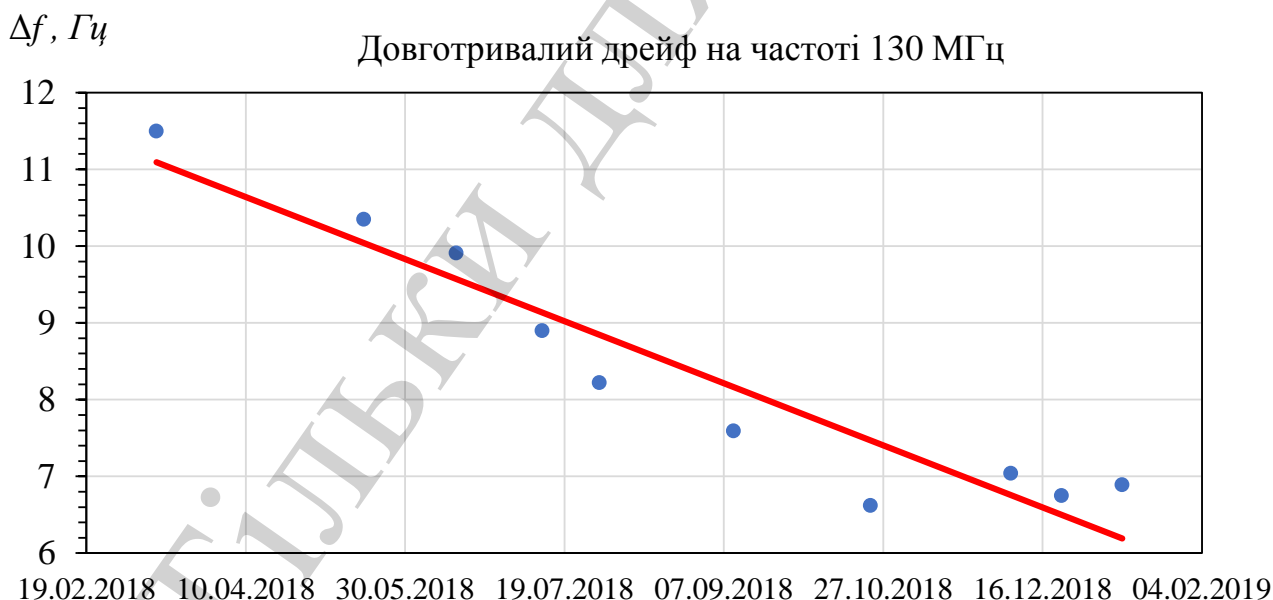


Рис. 2. Довготривалий дрейф приписаного значення для частоти 130 МГц

$\Delta f, \text{Гц}$

Довготривалий дрейф на частоті 168 МГц

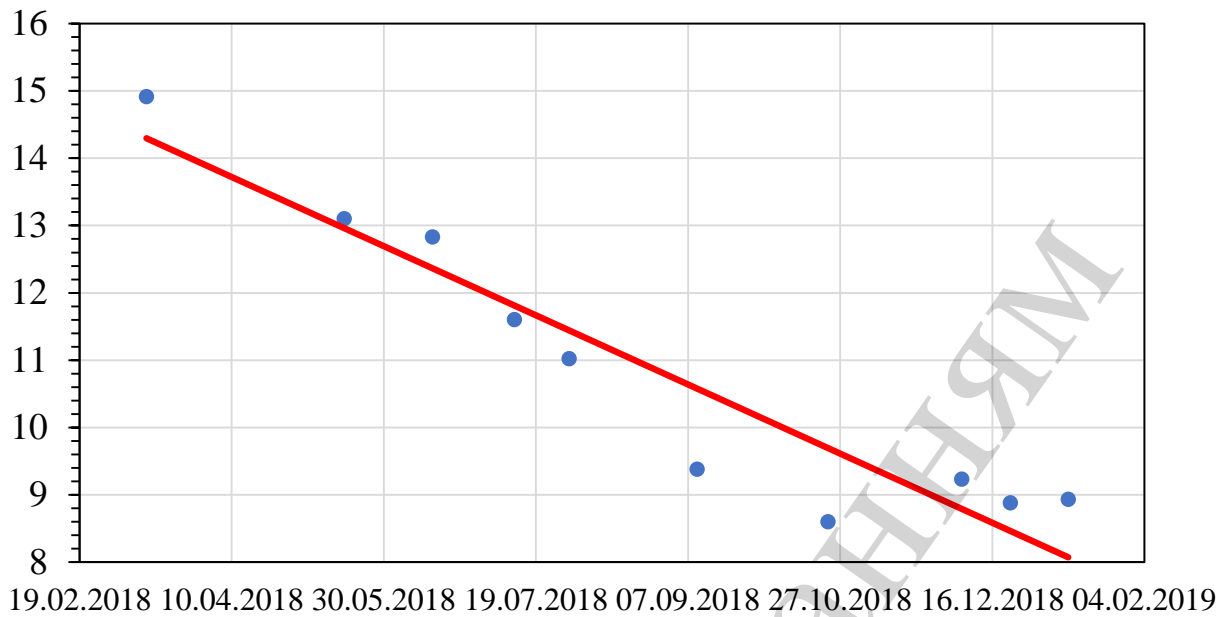


Рис. 3. Довготривалий дрейф приписаного значення для частоти 168 МГц

$\Delta f, \text{Гц}$

Довготривалий дрейф на частоті 223 МГц

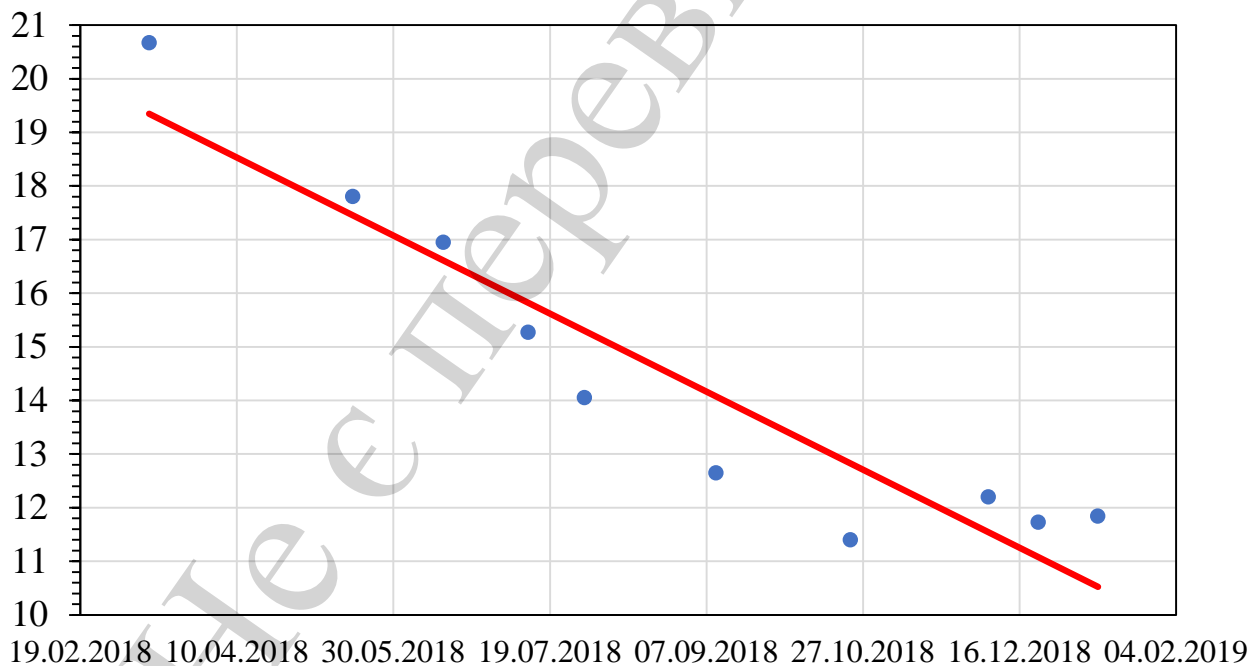


Рис. 4. Довготривалий дрейф приписаного значення частоти 223 МГц

На графіках, наведених на рис. 2–4, за вертикальною віссю наведено значення різниці частот Δf , що обчислюють за формулою:

$$\Delta f = f_{AV} - f_{nom}, \quad (10)$$

де f_{AV} – виміряне РЛ значення частоти (приписане значення); f_{nom} – номінальне значення частоти (точка калібрування).

Для обчислення приписаного значення частоти РЛ за час проведення МПР було виконано 10 калібрувань (після кожного учасника МПР). Визначено вирази для дрейфу приписаного значення частоти ЗП для всіх трьох точок калібрування. Апроксимовано приписані значення частот на дату калібрування кожного учасника.

Отримані РЛ вирази для апроксимації довготривалого дрейфу такі:

$$y_1 = -0,0162x + 709,15, \quad (11)$$

$$y_2 = -0,0205x + 900,39, \quad (12)$$

$$y_3 = -0,0291x + 1276,5, \quad (13)$$

де y_1 , y_2 , y_3 – відповідні апроксимовані приписані значення частоти 130 МГц, 168 МГц і 223 МГц; x – натуральне число, що відповідає даті апроксимації. Для першого учасника $x=43225$, що відповідає даті 05.05.2018 (початок МПР). Кожен наступний день додає до числа x одиницю.

Значення дрейфу частоти обчислюють за виразом:

$$f_{dr} = f_{\max} - f_{\min}, \quad (14)$$

де f_{\max} і f_{\min} – відповідно максимальне і мінімальне значення частоти, обчислені РЛ за весь час проведення МПР.

Обчислені за виразом (14) значення дрейфів частоти для відповідної точки калібрування становлять: 130 МГц – $f_{dr}=5$ Гц; 168 МГц – $f_{dr}=6$ Гц; 223 МГц – $f_{dr}=9$ Гц.

Дрейф частоти ЗП на нетривалому проміжку часу (менше 10000 с), а також короткочасну його нестабільність частоти, зображено на рис. 5.

Як приклад короткочасної нестабільності взято результати вимірювання РЛ в точці калібрування 168 МГц. Як видно з рис. 5, ЗП має короткочасну нестабільність із значенням близьким до 1 Гц. Для інших точок калібрування графіки короткочасної нестабільності мають такий самий характер, тому не наводяться.



Рис. 5. Дрейф частоти зразка порівняння на нетривалому проміжку часу та короткочасна нестабільність для частоти 168 МГц

Для того, щоб оцінити зазначену нестабільність, необхідно дослідити ЗП в кожній точці калібрування протягом певного проміжку часу, що відповідає мінімум одному повному періоду зростання чи спадання частоти. Лабораторії, які врахували короткочасну нестабільність ЗП, отримали кращу точність вимірювання.

5. 3. Оцінювання невизначеності вимірювань приписаного значення

Модель вимірювання має такий вигляд:

$$f_x = \bar{f} + \delta f_s + \delta f_{s\gamma} + \delta f_{SD} + \delta f_\tau, \quad (15)$$

де f_x – невідоме дійсне значення частоти; \bar{f} – середнє значення вимірної величини (показів еталонного частотоміра); δf_s – поправка, обумовлена відхиленням показів еталонного частотоміра (із сертифікату калібрування); $\delta f_{s\gamma}$ – поправка, обумовлена дрейфом еталонного частотоміра з моменту його останнього калібрування; δf_{SD} – поправка, обумовлена дискретністю показів еталонного частотоміра; δf_τ – поправка, обумовлена впливом навколишнього середовища.

Бюджет невизначеності приписаного значення наведений у табл. 1.

Таблиця 1

Бюджет невизначеності приписаного значення

Величина, X_i	Оцінка x_i , Гц	Стандартна невизначеність, $u(x_i)$, Гц	Розподіл	Коефіцієнт чутливості, c_i	Вклад в невизначеність, $u_i(y)$ Гц
Частота 130 МГц					
\bar{f}	130000011,5	0,12	нормальний	1,0	0,12
δf_S	-0,009	0,0013	нормальний	1,0	0,0013
δf_{Sy}	0	0,01	нормальний	1,0	0,01
δf_{SD}	0	0,00000006	прямокутний	1,0	0,00000006
δf_τ	0	0,01	нормальний	1,0	0,01
f_x	130000011,5	—	—	—	0,12
Частота 168 МГц					
\bar{f}	168000014,9	0,17	нормальний	1,0	0,17
δf_S	-0,009	0,0013	нормальний	1,0	0,0013
δf_{Sy}	0	0,01	нормальний	1,0	0,01
δf_{SD}	0	0,00000006	прямокутний	1,0	0,00000006
δf_τ	0	0,01	нормальний	1,0	0,01
f_x	168000014,9	—	—	—	0,17
Частота 223 МГц					
\bar{f}	223000020,7	0,19	нормальний	1,0	0,19
δf_S	-0,009	0,0013	нормальний	1,0	0,0013
δf_{Sy}	0	0,01	нормальний	1,0	0,01
δf_{SD}	0	0,00000006	прямокутний	1,0	0,00000006
δf_τ	0	0,01	нормальний	1,0	0,01
f_x	223000020,7	—	—	—	0,19

Розширені невизначеності, які визначаються за виразом $U = ku(f_x)$, складають для частоти: 130 МГц – $U=0,24$ Гц; 168 МГц – $U=0,34$ Гц; 223 МГц – $U=0,38$ Гц. Виміряні значення відповідно складають: $130000011,5 \pm 0,24$ Гц; $168000014,9 \pm 0,34$ Гц; $223000020,7 \pm 0,38$ Гц. Ці значення використані РЛ для встановлення міжлабораторних відхилень учасників МПР.

5. 4. Результати дослідження зразка порівняння лабораторіями-учасницями МПР

В табл. 2 та рис. 6–8 наведено результати МПР: відхилення результатів вимірювання лабораторій, розширені невизначеності, показники E_n та z .

Таблиця 2

Результати калібрування ЗП

Лабораторія	Ref	Lab 1	Lab 2	Lab 3	Lab 4	Lab 5	Lab 6	Lab 7	Lab 8	Lab 9	Lab 10
-------------	-----	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	--------

Частота 130 МГц											
D_{lab}, Γ_{Π}	0,00	3,50	8,69	-1,81	-1,34	4,21	1,37	0,57	0,66	2,82	1,81
U_{lab}, Γ_{Π}	0,27	80,09	13,01	30,99	80,42	4,30	2,42	4,94	52,10	32,00	11,33
E_n	—	0,04	0,67	-0,06	-0,02	0,98	0,56	0,12	0,01	0,09	0,16
z	—	0,83	2,98	-1,36	-1,17	1,12	-0,05	-0,38	-0,34	0,55	0,13
Частота 168 МГц											
D_{lab}, Γ_{Π}	0,00	2,12	8,48	-5,30	-4,64	2,40	-1,32	-2,83	-3,93	1,44	0,67
U_{lab}, Γ_{Π}	0,45	82,63	12,22	40,06	80,42	4,30	3,13	6,70	67,26	30,00	12,27
E_n	—	0,03	0,69	-0,13	-0,06	0,56	-0,42	0,42	-0,06	0,05	0,05
z	—	0,70	2,37	-1,25	-1,07	0,77	-0,20	0,60	-0,89	0,52	0,32
Частота 223 МГц											
D_{lab}, Γ_{Π}	0,00	1,15	11,42	-6,31	-6,24	0,17	-0,73	1,74	-0,58	2,04	1,12
U_{lab}, Γ_{Π}	0,45	86,80	12,81	53,21	80,42	5,10	4,16	4,50	51,56	32,00	13,54
E_n	—	0,01	0,89	-0,12	-0,08	0,03	-0,17	0,38	-0,01	0,06	0,08
z	—	0,42	5,07	-2,95	-2,92	-0,02	-0,43	0,88	-0,36	0,83	0,41

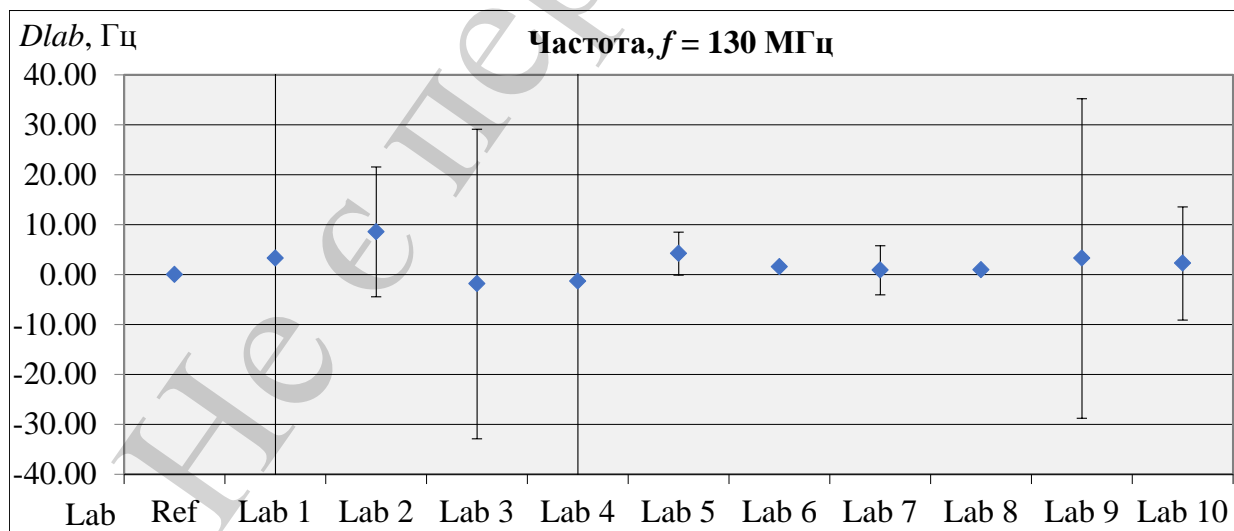


Рис. 6. Результати калібрування на частоті 130 МГц

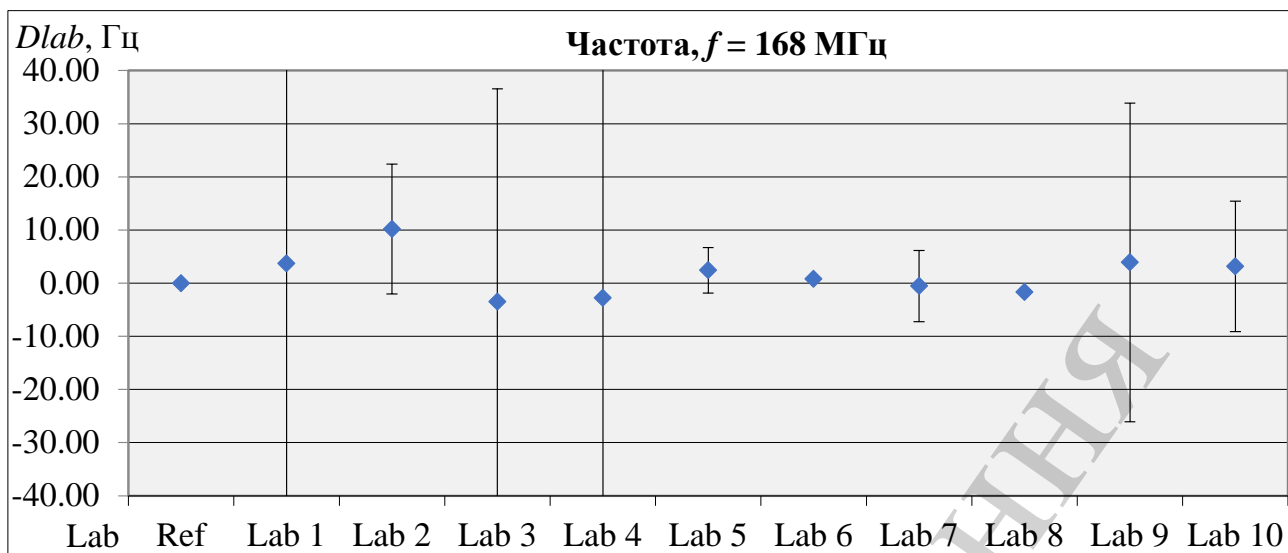


Рис. 7. Результати калібрування на частоті 168 МГц

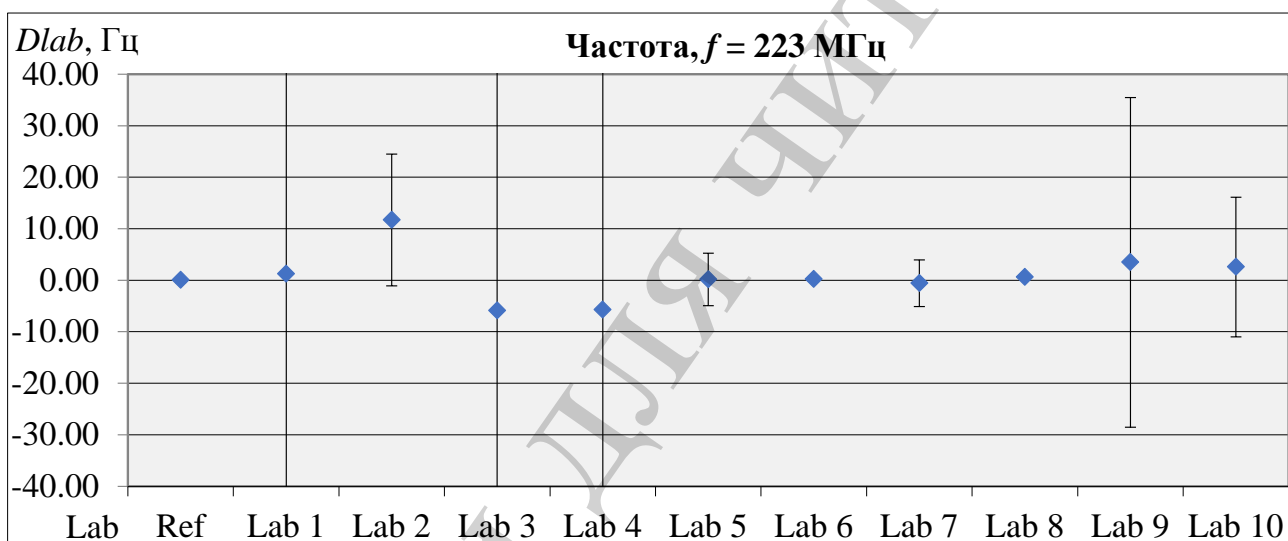


Рис. 8. Результати калібрування на частоті 223 МГц

Наведені в табл. 2 і на рис. 6–8 результати МПР дозволяють розробити спеціальні рекомендації щодо удосконалення діяльності кожної лабораторії-учасниці МПР.

6. Обговорення результатів міжлабораторного порівняння калібрування генератора сигналів

Спеціальний генератор сигналу BPSG6 OEM виробництва компанії Aaronia AG (Німеччина) було модернізовано і калібровано як ЗП у МПР. Отримані за виразом (14) значення дрейфів частоти повністю задовольняють вимогам для цих МПР, так як не перевищують $3,4 \cdot 10^{-6}$ – $4,0 \cdot 10^{-6}$ % від значення частоти точки калібрування (вкрай мале значення). Як видно з рис. 2–4, довготривалий дрейф частоти для всіх трьох точок калібрування є від'ємним, має несуттєве значення і ним можна знехтувати під час обробки результатів МПР. Як видно з рис. 5, ЗП має короткочасну нестабільність із значенням близьким до 1 Гц.

Оцінено узгодженість отриманих даних за допомогою показників E_n та z . Всі учасники МПР, Lab 1–10 (табл. 2) задовольняють вимогам показника E_n у всіх точках калібрування (130 МГц, 168 МГц і 223 МГц). Це підтверджує кваліфікацію учасників МПР при виконанні ними калібрування відповідно до вимог ДСТУ ISO/IEC 17025 [4].

Лабораторії Lab 3, Lab 4 в точці калібрування 223 МГц мають абсолютні значення показника z в межах від 2,0 до 3,0. Лабораторія Lab 2 має абсолютні значення показника z в межах від 2,0 до 3,0 у точках калібрування 130 МГц і 168 МГц і більше 3,0 – в точці калібрування 223 МГц. Як видно, за показником z лабораторія Lab 2 в одній точці калібрування має повністю незадовільний результат, а Lab 3 і Lab 4 мають задовільний результат. Відповідно Lab 2 потребує більш суттєвих заходів з корегування для реалізації калібрування генераторів сигналів, ніж Lab 3 і Lab 4, які також потребують певних заходів корегування. Тобто, зазначеним лабораторіям рекомендується переглянути свої поправки під час обчислення виміряного значення частоти та врахувати їх у власних методиках калібрування.

Таким чином можна констатувати, що показник E_n у більшій мірі характеризує достовірність результатів вимірювань лабораторій, але не завжди є достатнім для визначення точності результатів вимірювань, тобто наближеності результатів вимірювань до істинного значення. Для цього більше підходить показник z , який порівнює результати вимірювань всіх лабораторій між собою та дає кращу інформативність стосовно точності вимірювань в лабораторіях. Оцінювання узгодженості даних за допомогою показників E_n та z є важливим не лише для підтвердження технічної компетентності лабораторій-учасниць МПР при виконанні ними калібрування відповідно до вимог стандарту ДСТУ ISO/IEC 17025. Це також сприятиме підвищенню точності дослідження ЗП для відповідного зменшення невизначеності вимірювань, які проводять лабораторії-учасниці МПР.

7. Висновки

1. Здійснено вибір методології оброблення результатів МПР з урахуванням довготривалого дрейфу ЗП. РЛ проведено модернізацію і дослідження ЗП для МПР з калібрування генераторів сигналів. Визначені приписані значення та їх розширені невизначеності для МПР. Отримано вирази для апроксимації довготривалого дрейфу ЗП і складено бюджети невизначеностей для всіх приписаних значень ЗП на частотах 130 МГц, 168 МГц і 223 МГц.

2. РЛ здійснила вибір необхідних критеріїв за статистикою функціонування і оцінила результати дослідження ЗП лабораторіями-учасницями МПР. Це необхідно для підтвердження технічної компетентності лабораторій-учасниць МПР при виконанні ними калібрування відповідно до вимог стандарту ДСТУ ISO/IEC 17025.

3. Представлені результати МПР з калібрування генератора сигналів показують, що всі лабораторії-учасниці МПР задовольняють вимогам за показником E_n . В той же час одна лабораторія в одній точці калібрування має повністю незадовільний результат, а в двох інших – задовільний результат за показником z .

Ця лабораторія потребує як суттєвих, так і певних заходів корегування для реалізації калібрування генераторів сигналів. Дві інші лабораторії в одній точці калібрування мають хоча задовільний результат за показником z , однак потребують певних заходів корегування для реалізації калібрування генераторів сигналів.

4. За результатами МПР можна зробити висновок, що показник E_n не завжди є самодостатнім. Показник E_n у більшій мірі характеризує достовірність результатів вимірювань лабораторій, але не завжди є достатнім для визначення точності результатів вимірювань, тобто наближеності результатів вимірювань до істинного значення. Для цього більш інформативним є показник z , який порівнює результати вимірювань всіх лабораторій між собою та дає кращу інформативність щодо точності вимірювань в лабораторіях.

Література

1. International vocabulary of metrology. Basic and general concepts and associated terms (VIM). 3-rd ed. JCGM, 2012. URL: https://www.bipm.org/utis/common/documents/jcgm/JCGM_200_2012.pdf
2. ISO/IEC Guide 98-3:2008. Uncertainty of measurement. Part 3. Guide to the expression of uncertainty in measurement (GUM:1995). ISO/IEC, 2008. 130 p.
3. ILAC Policy on the Traceability of Measurement Results. ILAC. 2013. URL: http://www.enaioeth.org/publication_documents/ILAC_P10_01_2013%20ILAC%20Policy%20on%20Traceability%20of%20Measurement%20Results.pdf
4. ДСТУ ISO/IEC 17025:2006. Загальні вимоги до компетентності випробувальних та калібрувальних лабораторій (ISO/IEC 17025:2005, IDT). Київ: Держспоживстандарт України, 2007. 32 с.
5. ДСТУ EN ISO/IEC 17043:2014. Оцінка відповідності. Загальні вимоги до перевірки кваліфікації лабораторій (EN ISO/IEC 17043:2010, IDT). Київ: Мінекономрозвитку України, 2014. 21 с.
6. Velychko O., Gordiyenko T. Linking Results of International Comparisons of the National Standard and the National Inter-Laboratory Comparisons // Journal of Physics: Conference Series. 2018. Vol. 1065. P. 072004. doi: <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1065/7/072004>
7. Interlaboratory comparisons of the calibration results of time meters / Velychko O., Shevkun S., Gordiyenko T., Mescheriak O. // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. 2018. Vol. 1, Issue 9 (91). P. 4–11. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2018.121089>
8. Velychko O., Gordiyenko T. The implementation of general international guides and standards on regional level in the field of metrology // Journal of Physics: Conference Series. 2010. Vol. 238. P. 012044. doi: <https://doi.org/10.1088/1742-6596/238/1/012044>
9. Velychko O., Gordiyenko T. The estimation of the measurement results with using statistical methods // Journal of Physics: Conference Series. 2015. Vol. 588. P. 012017. doi: <https://doi.org/10.1088/1742-6596/588/1/012017>
10. Ефремова Н. Ю., Чуновкина А. Г. Опыт оценивания данных межла-

бораторных сличений калибровочных и поверочных лабораторий // Измерительная техника. 2007. № 6. С. 15–21.

11. Claudio J., Costa M. Brazilian energy interlaboratory program applicative // XX IMEKO World Congress “Metrology for Green Growth”. Busan, 2012. 6 p.

12. Sandu I., Dragomir L., Pantelimon B. Interlaboratory comparison // 15th IMEKO TC 4 Symposium on Novelties in Electrical Measurements and Instrumentations. Iasi, 2007. 4 p.

13. Considerations on the influence of travelling standards instability in an interlaboratory comparison program / Sousa J. J. L., Leitão L. T. S., Costa M. M., Faria M. C. // XX IMEKO World Congress “Metrology for Green Growth”. Busan, 2012. 4 p.

14. Active power quality assessment through interlaboratories comparison / Poenaru M. M., Iacobescu F., Anghel A.-C., Sălceanu A., Anghel M.-A. // 21th IMEKO TC4 International Symposium “Understanding the World through Electrical and Electronic Measurement”. Budapest, 2016. P. 224–228.

15. Poenaru M. M., Iacobescu F., Anghel M.-A. Length calibration Quality assessment through Interlaboratories Comparison // 22th IMEKO TC 4 Symposium “Supporting World development through electrical and electronic measurements”. Iasi, 2017. P. 20–26.

16. Final report on the supplementary comparison EURAMET.EM-S26: inductance measurements of 100 mH at 1 kHz (EURAMET project 816) / Dierikx E., Nestor A., Melcher J., Kölling A., Callegaro L. // Metrologia. 2012. Vol. 49, Issue 1A. P. 01002–01002. doi: <https://doi.org/10.1088/0026-1394/49/1a/01002>

17. Çaycı H. Final report on key comparison EURAMET.EM-K5.1 (EURAMET Project No. 687): Comparison of 50/60 Hz power // Metrologia. 2011. Vol. 48, Issue 1A. P. 01009–01009. doi: <https://doi.org/10.1088/0026-1394/48/1a/01009>

18. Final report on the APMP comparison of capacitance at 100 pF (APMP supplementary comparison APMP.EM-S7) / Johnson L., Chua W., Corney A., Hsu J., Sardjono H., Lee R. D. et. al. // Metrologia. 2008. Vol. 45, Issue 1A. P. 01003–01003. doi: <https://doi.org/10.1088/0026-1394/45/1a/01003>

19. CCEM-K5 Comparison of 50/60 Hz power / Oldham N., Nelson T., Zhang N. F., Liu H. // Metrologia. 2003. Vol. 40, Issue 1A. P. 01003–01003. doi: <https://doi.org/10.1088/0026-1394/40/1a/01003>

20. ДСТУ ISO 13528:2014. Статистичні методи, що застосовуються при перевірці кваліфікації лабораторії шляхом міжлабораторних порівнянь (ISO 13528:2005, IDT). Київ: Мінекономрозвитку України, 2014. 29 с.